

自転車エルゴメーター駆動時の機械的パワーと
血中乳酸濃度に及ぼす運動時間の影響

Effects of different exercise times on
mechanical power and blood lactate
production

堀 川 浩 之** 角 田 直 也* 高 橋 泰*
田 村 和 哉* 辻 秀 一*** 佐 藤 三千雄**

Hiroyuki HORIKAWA** Naoya TSUNODA*
Yasushi TAKAHASHI* Kazuya TAMURA*
Shuichi TSUJI*** and Michio SATO**

The purpose of the present study was to clarify the changes of mechanical power and blood lactate production through exercises using a leg bicycle ergometer at some different time length.

The following results were obtained:

1) The mean value of maximal mechanical power was 994W and those of mechanical power with submaximal work loads due to different exercise times (P_{sub}) were 785W in 5 seconds, 759W in 10 seconds, 681W in 25 seconds, 553W in 50 seconds, 485W in 75 seconds and 406W in 120 seconds, respectively. P_{sub} significantly decreased with increasing work time.

2) The mean value of blood lactate in 5 seconds and 75 seconds were 1.9mmol/l and 9.5mmol/l, respectively. Blood lactate values significantly increased with increasing work time for 75 seconds and its value of 75 seconds showed summit. The values of blood lactate between of 75 seconds and 120 seconds were not significantly different.

3) Δ blood lactate showed the highest value in the first 25 seconds among the following 25 seconds periods up to 75 seconds.

From these results, it can be suggested that the energy supply system was different in each work time.

* 身体運動学教室 (Lab. of Biodynamics and Human Performance, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

** 昭和大学教養部保健体育教室 (Lab. of Physical Education, College of Arts and Sciences, Showa University)

*** 慶應義塾大学スポーツ医学研究センター (Sports Medicine Research Center, Keio University)

目 的

Fox¹⁾によればエネルギー供給過程は運動時間の経過にともない非乳酸性、乳酸性、有酸素性と順に推移する。このうち非乳酸性過程において発揮されるパワー、即ち短時間の全力運動時に発揮される機械的パワーを最大無酸素性パワーとして定めている²⁾。

自転車エルゴメーターを用いて測定された最大無酸素性パワーは10秒以内での全力駆動中に発揮されるパワーであるが、運動時間の延長によって、その発揮パワーは低下することが報告^{7, 8)}されている。これは各エネルギー供給系の特性を反映しているものである。即ち7秒以内では非乳酸性、60秒以内では乳酸性、60秒以後では有酸素性機構の関与が高くなり、それぞれの機構でのパワー発揮が考えられている^{3), 8)}。

そこで本研究では、8名の体育学専攻の男子学生を対象として自転車エルゴメーターを用いて異なる時間で全力駆動を行わせ、運動時間の変化にともなう機械的パワーと血中乳酸濃度の変化を明らかにすることを目的とした。

方 法

1) 被検者

本研究の被検者は、体育学専攻の男子学生8名であった。各被検者の年齢および身体的特徴は表1に示した。なお、測定に際しては各被検者に研究の目的、方法および安全性について十分な説明を行い、測定に参加する同意を得た。

2) パワーの測定

①最大無酸素性パワーの測定

最大無酸素性パワー(Pmax)の測定は、自転車エルゴメーター(パワーマックスV、コンビ社製)を用いて行った。Pmaxの測定手順については中村ら⁶⁾の方法を用いた。また、被検者には測定にさきだってペダリング中に腰を浮かせないこ

とおよび各負荷とも最大努力で運動すること等の指示を与えた。

②各運動時間での発揮パワーの測定

運動時間は5、10、25、50、75および120秒とした。

各運動時間での発揮パワー(Psub)の測定は、自転車エルゴメーターの負荷重量をWingate Anaerobic Test⁷⁾で用いられる、各被検者の体重の7.5%に設定して行った。

Psubの測定はそれぞれ異なる日に行い、試行順序は無作為で実施した。各試行とも被検者ごとにサドルの高さを同一に設定し、最初から全力で運動するように指示を与えた。

③血中乳酸濃度の測定

各試行とも、安静時および運動終了2分後に指先からディスポーザブルのマイクロピペットを用いて約45 μ lを採血し、乳酸分析器(Lactate Analyzer、model 23L、YSI社製)を用いて血中乳酸濃度を分析した。分析器の校正は実験開始前後に既知濃度の乳酸液を用いて行った。

表1 被検者の年齢および身体的特徴

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
T.K.	23	171.0	68.0
T.Y.	22	173.0	69.0
K.Y.	20	174.0	77.0
H.T.	22	176.0	64.0
F.A.	21	174.0	76.0
A.K.	23	169.0	61.0
K.T.	23	173.0	66.0
M.K.	27	168.0	64.0
平均	23	172.3	68.1
標準偏差	2	2.7	5.7

3) 統計処理

各運動時間における発揮パワーの平均値の差の検定は、各々の隣接する運動時間との間で対応のあるstudentのt-testを用いて行った。有意水準は危険率5%以下とした。

結果および考察

1) PmaxおよびPsub

表2は各被検者のPmax値およびPsub値を示したものである。Pmaxは1122Wから864Wの間の値を示し、平均値は 994 ± 96 Wであった。またPsubの平均値は運動時間5秒で 785 ± 85 W、10秒で 759 ± 72 W、25秒で 681 ± 55 W、50秒で 553 ± 48 W、75秒で 485 ± 50 W、120秒で 406 ± 39 Wをそれぞれ示した。

図1は運動時間とPsubの関係について示したものである。運動時間の増大にともない発揮パワーは低下する傾向を示し、各運動時間の間で有意な差がみられた。

中村⁵⁾は体育学生26名のPmaxについて平均 930 ± 187 Wという値を報告おり、本研究の被検者の方が高い値を示す傾向がみられた。

本研究におけるPmaxは、10秒の運動時間でありPsubにおける5および10秒の運動時間と同様なエネルギー供給系が関与しているが、Psubの運動時間の5および10秒ではPmaxより低い値を示した。この理由として中村ら⁶⁾は、Wingate Anaerobic Testで用いた負荷が必ずしも最大無酸素性パワーの値を得る負荷ではないことを指摘している。また中塘ら⁴⁾は、本研究と同様の方法である数種類の異なる負荷の発揮パワーから推定した無酸素性パワーはWingate Anaerobic Testで測定された無酸素性パワーと比較して有意に高い値を示したことを報告している。即ち、Wingate Anaerobic Testで用いられる負荷では最大無酸素性パワー値が得られないことが推察された。

生田と猪飼³⁾は、自転車エルゴメーターの90秒までの運動時間と発揮パワーの関係について、運動時間の増大にともない発揮パワーの低下がみられることを報告しており、本研究の結果でも同様な傾向が認められた。

2) 血中乳酸濃度

表3は安静時、PmaxおよびPsubの各運動後

表2 PmaxおよびPsubにおける発揮パワー(W)

	Pmax	5 秒	10秒	25秒	50秒	75秒	120秒
T.K.	1119	827	786	716	573	533	419
T.Y.	1069	852	806	699	570	506	392
K.Y.	952	851	846	748	613	566	490
H.T.	960	720	707	643	529	468	417
F.A.	1122	880	813	735	613	501	408
A.K.	864	638	633	590	476	419	370
K.T.	948	793	784	679	533	453	372
M.K.	921	715	699	635	518	435	379
平均	994	785	759	681	553	485	406
標準偏差	96	85	72	55	48	50	39

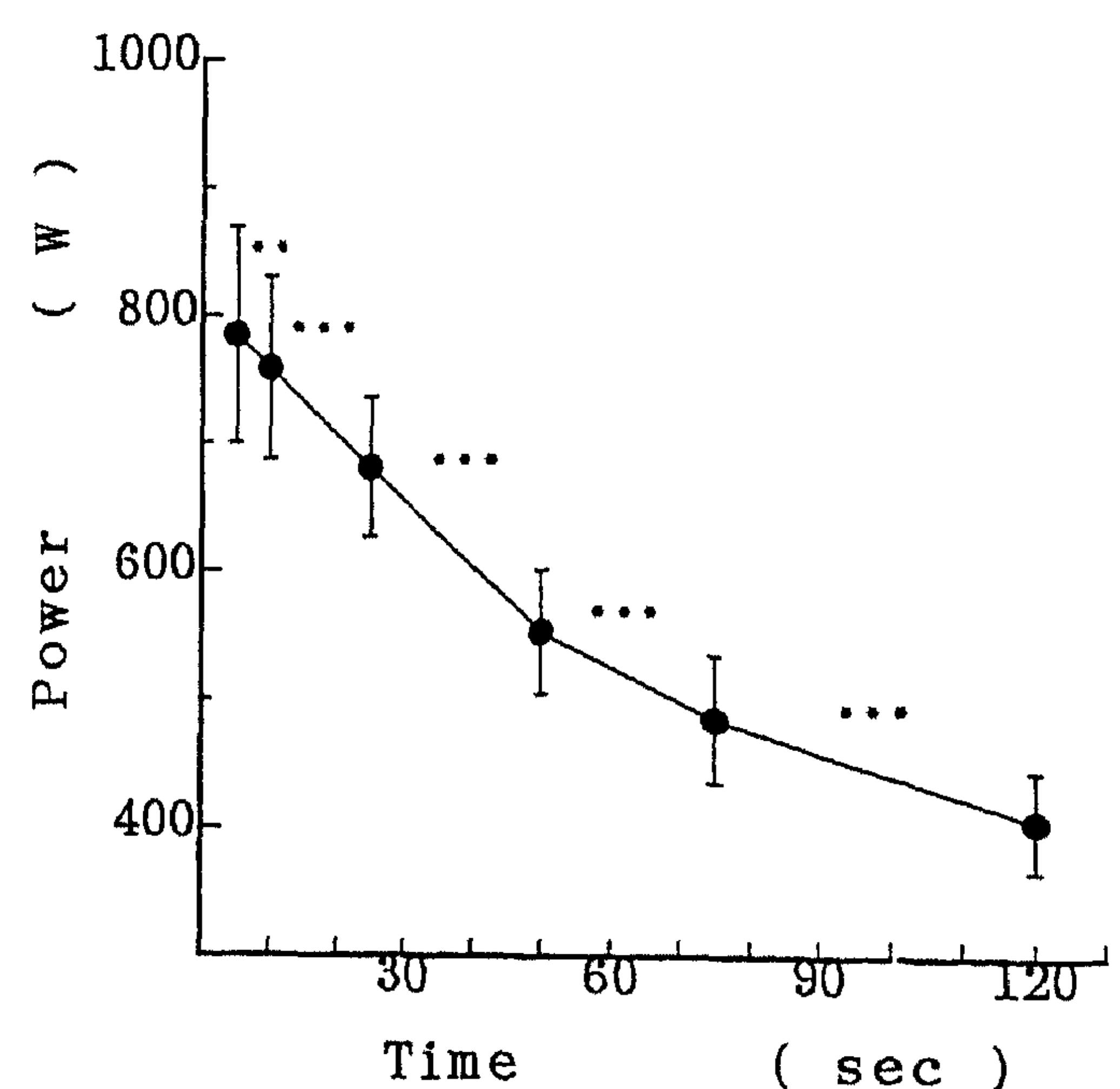


図1 運動時間と発揮パワーとの関係
(** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$)

の増加血中乳酸濃度の値を示したものである。血中乳酸濃度の値は安静時で $1.2 \pm 0.3 \text{ mmol/l}$ であり、各運動後の増加血中乳酸濃度はそれぞれPmaxが $6.0 \pm 1.8 \text{ mmol/l}$ 、5秒が $1.9 \pm 0.6 \text{ mmol/l}$ 、10秒が $3.6 \pm 1.1 \text{ mmol/l}$ 、25秒が $6.4 \pm 2.2 \text{ mmol/l}$ 、50秒が $7.7 \pm 1.7 \text{ mmol/l}$ 、75秒が $9.5 \pm 1.0 \text{ mmol/l}$ および120秒が $9.4 \pm 1.0 \text{ mmol/l}$ の値を示した。

図2は各運動時間での増加血中乳酸濃度と運動時間の関係を示したものである。運動時間の増大にともない増加血中乳酸濃度も増加する傾向を示した。75秒までは各運動時間の間に有意な差が認められた。しかし、75秒と120秒の間には有意な差はみられなかった。生田と猪飼³⁾および山本と宮下⁹⁾はいずれも運動時間が約60秒までは血中乳酸濃度が上昇するものの、それ以後の運動時間においては乳酸の増加が認められなかったことを報告している。本研究では60秒という運動時間は実施していない。しかし、本研究の75秒と120秒の間における増加血中乳酸濃度には有意な差がみられず、先行研究とほぼ同様な結果であった。

表4は運動開始から25秒ごとの血中乳酸濃度の

増加量を示したものである。その増加量は運動開始から25秒までの間において最も高い値を示した。乳酸性過程が主にエネルギー供給系として働いている運動時間の60秒までについて30秒ごとに乳酸産生を観察した報告^{3, 9)}によると、乳酸の産生量は作業開始から30秒の間が30秒から60秒の間

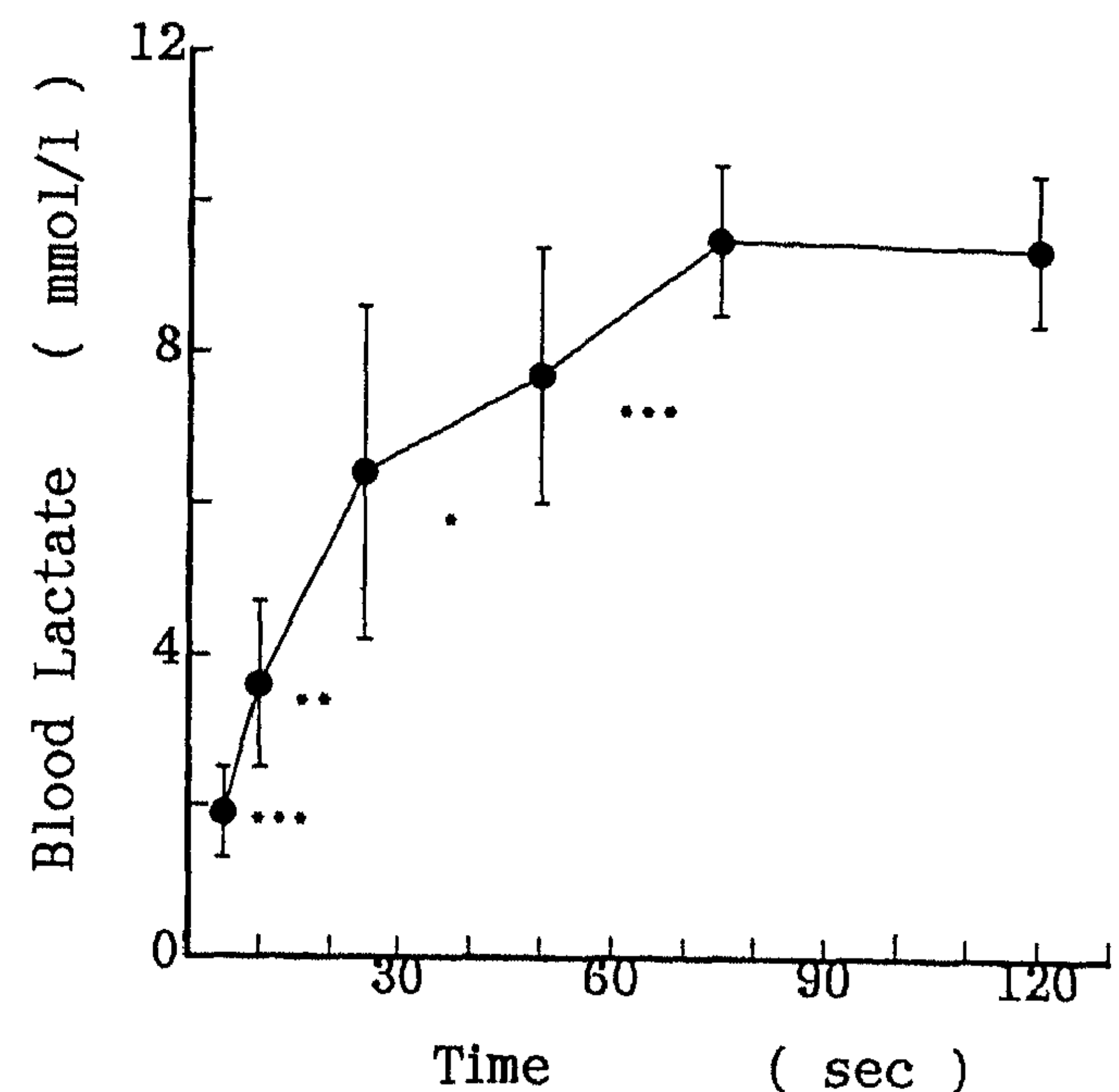


図2 運動時間とパワー発揮後の血中乳酸濃度との関係

(* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$)

表3 PmaxおよびPsubのパワー発揮後の血中乳酸濃度(mmol/l)

	安静	Pmax	5秒	10秒	25秒	50秒	75秒	120秒
T.K.	1.3	6.5	2.1	4.5	8.5	8.5	9.9	9.2
T.Y.	1.0	5.9	2.6	4.1	7.0	9.0	9.8	8.3
K.Y.	1.4	2.7	1.1	2.1	1.9	4.7	8.5	7.9
H.T.	1.1	6.3	1.3	3.6	5.6	7.0	8.6	9.4
F.A.	1.6	7.4	1.4	3.9	7.9	8.0	10.0	10.3
A.K.	0.9	5.0	1.4	1.7	5.7	5.9	8.0	9.6
K.T.	1.2	8.9	2.4	4.3	8.8	9.6	10.8	9.9
M.K.	0.8	5.3	2.6	4.8	6.0	8.6	10.2	10.9
平均	1.2	6.0	1.9	3.6	6.4	7.7	9.5	9.4
標準偏差	0.3	1.8	0.6	1.1	2.2	1.7	1.0	1.0

よりも高いことが認められている。本研究においてもほぼ同様の結果が得られた。

このことは、全力ペダリング時のエネルギー供給のうち乳酸性過程は、作業開始からわずかに遅れて働きはじめ約60秒まで続き、約60秒以後のエネルギー供給は、有酸素性のエネルギー供給過程の働きが高くなる^{3, 8, 9)}という知見を本研究の結果も指示しているものと考えられる。

表4 運動開始から25秒ごとの増加血中乳酸濃度 (mmol/l)

	25秒	50秒	75秒
T.K.	8.5	0.0	1.4
T.Y.	7.0	2.0	0.8
K.Y.	1.9	2.8	3.8
H.T.	5.6	1.4	1.6
F.A.	7.9	0.1	2.0
A.K.	5.7	0.2	2.1
K.T.	8.8	0.8	1.2
M.K.	6.0	2.6	1.6
平均	6.4	1.2	1.8
標準偏差	2.2	1.1	0.9

ま と め

本研究では男子学生8名を対象に自転車エルゴメーターを用いて、Wingate test法の負荷による全力駆動を異なる時間でおこなわせ、発揮された機械的パワーと血中乳酸濃度の変化について検討した。その結果、Pmaxの平均値は994Wであった。Psubの各運動時間での値は運動時間の増大にともない低下し、各運動時間でのPsubの平均値はそれぞれ5秒が785W、10秒が759W、25秒が681W、50秒が553W、75秒が485Wおよび120秒が406Wであった。各運動時間での血中乳酸濃度の平均値は、運動時間の増大にともない5秒の

1.9mmol/l から75秒の9.5mmol/lまで上昇したが、120秒では9.4mmol/lの値を示し75秒と120秒では有意な差がみられなかった。また、運動時間が25秒ごとの血中乳酸の増加量は運動開始から25秒までが最大であった。

これらのことから運動時間の経過にともなう、エネルギー供給過程の推移が示唆された。

本研究の一部は国士舘大学体育学部附属体育研究所の研究助成金（代表者角田直也）によるものである。

引用・参考文献

- 1) Fox, E.L.: Sports Physiology, pp19-33, W.B. Saunders Company, Philadelphia, 1979.
- 2) 生田香明, 猪飼道夫: 自転車エルゴメーターによるMaximum Anaerobic Powerの発達の研究. 体育学研究, 17, 151-157, 1972.
- 3) 生田香明, 猪飼道夫: Mechanical power、血液乳酸量、酸素負債量によるAnaerobic workの研究. 体力科学, 22, 1-8, 1973.
- 4) 中塘二三生, 田中喜代次, 渡辺一志, 福田隆: WingateおよびEvans-Quinneyテストを応用した短時間の自転車作業による最大無酸素性パワー測定法の検討. 体力科学, 35, 161-167, 1986.
- 5) 中村好男: アネロビックパワーからみたスポーツ選手の体力. J.J. Sports Sci., 6, 697-702, 1987.
- 6) 中村好男, 武藤芳照, 宮下充正: 最大無酸素パワーの自転車エルゴメーターによる測定法. J.J. Sports Sci., 3, 834-839, 1984.
- 7) Oded Bar-Or: The Wingate anaerobic test An update on methodology, re-liability and validity. Sports medicine, 4, 381-394, 1987.
- 8) 山本正嘉: 全力ペダリング持続時の発揮パワー特性による非乳酸性、乳酸性、および有酸素性能力の同時評価テストの開発—テストの妥当性についての検討—. 国武大紀要, 1, 87-96, 1985.
- 9) 山本正嘉, 宮下充正: 最大努力作業の持続時におけるパワーの低下特性とエネルギー供給状態. 第35回日本体育学会予稿集, 305, 1984.

